

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

---

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-286452

(43)Date of publication of application : 16.10.2001

(51)Int.Cl.

A61B 5/05

(21)Application number : 2000-108067

(71)Applicant : YAMATO SCALE CO LTD

(22)Date of filing : 10.04.2000

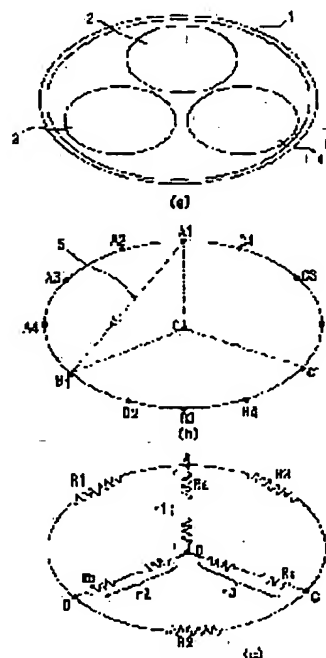
(72)Inventor : TAKAHASHI TORU  
MITAO KENJI

## (54) BODY FAT MEASURING DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To recognize the quantity of fat present inside a human body by estimating the quantity of the fat around the body surface and the location and quantity of the intra-corporeal fat with an inexpensive and easy device as easily as observing the cross section of the human body.

**SOLUTION:** The impedance value of the intra-corporeal tissue is obtained based on the impedance value of the subcutaneous tissue on the body surface in an arbitrary section of a human body and the impedance of the section tissue consisting of the subcutaneous tissue on the body surface and the intra-corporeal tissue in the arbitrary section.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-286452  
(P2001-286452A)

(43) 公開日 平成13年10月16日 (2001. 10. 16)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームコード (参考)

A 6 1 B 5/05

A 6 1 B 5/05

B 4 C 0 2 7

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2000-108067(P2000-108067)

(22) 出願日 平成12年4月10日 (2000. 4. 10)

(71) 出願人 000208444

大和製衡株式会社

兵庫県明石市茶園場町 5 番22号

(72) 発明者 孝橋 徹

兵庫県明石市茶園場町 5 番22号 大和製衡  
株式会社内

(72) 発明者 三田尾 健司

兵庫県明石市茶園場町 5 番22号 大和製衡  
株式会社内

(74) 代理人 100097755

弁理士 井上 勉

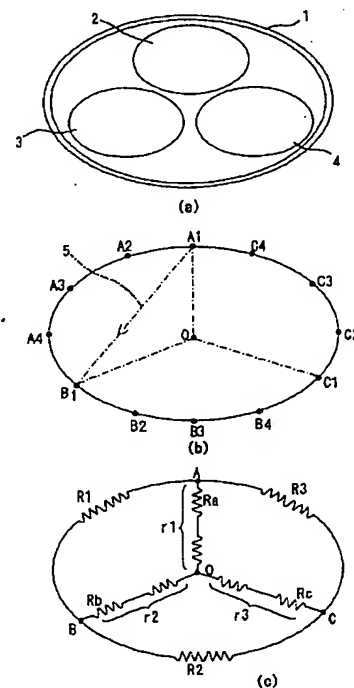
Fターム (参考) 4C027 AA06 CC00 DD03 EE01 HH11

(54) 【発明の名称】 体脂肪測定装置

(57) 【要約】

【課題】 安価で簡易な装置により、人間の体内に存在する脂肪量を身体の前断面を観察する如く、体表面周囲の脂肪の量および体腔内脂肪の存在位置と量とを推定して認識する。

【解決手段】 身体の前断面における体表面部皮下組織のインピーダンス値と、前断面における体表面部皮下組織および体内組織よりなる身体の前断面組織のインピーダンス値とから前記体内組織のインピーダンス値を求める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 身体の任意の断面における脂肪量を測定する体脂肪測定装置であって、前記任意の断面における体表面部皮下組織のインピーダンス値と、前記任意の断面における体表面部皮下組織および体内部組織よりなる身体の断面組織のインピーダンス値とから前記体内部組織のインピーダンス値を求めることを特徴とする体脂肪測定装置。

【請求項 2】 前記体表面部皮下組織および体内部組織のインピーダンス値を求めるに際しては、これら体表面部皮下組織および体内部組織に分布する脂肪層をそれらの分布態様に見合うインピーダンス片の接合合成体としてのインピーダンス回路に置換するようにされる請求項 1 に記載の体脂肪測定装置。

【請求項 3】 前記インピーダンス回路は、身体の体表面部に配置される複数の電極のうち、体組織を挟んで対向する少なくとも一組の電極間に電流または電圧を印加し、この少なくとも一組の電極を含む複数の電極間に発生する電圧を測定することにより前記インピーダンス片のインピーダンス値を得るものである請求項 2 に記載の体脂肪測定装置。

【請求項 4】 前記体表面部皮下組織のインピーダンス値は、体表面部皮下組織のみに電流または電圧を印加して求められる請求項 2 に記載の体脂肪測定装置。

【請求項 5】 前記体表面部皮下組織のインピーダンス値は、この体表面部皮下組織の脂肪層の厚みを測定する測定器から得られる測定値を換算することにより求められる請求項 2 に記載の体脂肪測定装置。

【請求項 6】 前記体内部組織のインピーダンス値は、体断面部位別および体断面部位の組織の種類に対応して定めた変換係数を用いて脂肪量および脂肪量ランク値に変換される請求項 1～5 のいずれかに記載の体脂肪測定装置。

【請求項 7】 さらに、前記インピーダンス回路に対応させて、身体の断面における脂肪量分布態様を画像化して表示する表示手段が設けられる請求項 2～6 のいずれかに記載の体脂肪測定装置。

【請求項 8】 前記表示手段は、前記体表面部皮下組織および体内部組織に分布する脂肪層を脂肪量ランク値に対応させて色の濃淡付けまたは複数種の色分けにて表示するものである請求項 7 に記載の体脂肪測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、身体の任意の断面における脂肪量を測定する体脂肪測定装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、体表面に複数の電極を装着して体内組織のインピーダンスを測定する方法として、いろいろな方法が提案されている。その代表的なものに、特開

昭 59-17329 号公報に記載のコンピュータ・トモグラフィー (CT) 像の形成法がある。この方法は、例えば人体の胸の周囲に 16 個の電極を配置し、それぞれ一対の電極間に順次電流または電圧を印加し、残りの表面電極の発生電位を測定し、この発生電位から人体中が 1 個の均質な物質からなるものと仮定した場合における電位を計算し、この計算結果に対応する等電位点をプロットして人体の均一な像を形成し、順次電極対に電流または電圧を印加した各場合において測定した電位と計算した電位との割合によって等電位線に沿ったインピーダンスを 1 より大きな割合、または 1 より小さな割合に増減させてそれぞれの割合にしたがって像を形成するようにしたものである。

【0003】しかし、この方法では、16 の電極に対して 1456 種の電位測定を行う必要があって測定時間として 1456 秒を要することになり、CPU の機能を上げて如何に早く演算したとしてもアナログ的な測定回数を省略することができないという問題点がある。

【0004】そこで、このような問題点に対処したものとして、特開平 6-168 号公報においては、多信号同時供給装置から N 個の各電極に N 種類の周波数の電気信号を同時に印加し、多信号同時計測装置によって測定対象物の周囲電位を同時に測定し、断層像再構成装置にて、測定した電位の周波数分析を行って各周波数に対する測定対象物の周囲の電位分布の測定値を求めるように構成されたものが提案されている。この方法によれば、各電極に順番に信号を与えなくても、各電極に信号が与えられたときに当該電極に発生する電圧信号を同時に取り出すことができるので、所謂 CT 法で画像化する方法でありながら、多くの電極をスキッピングする必要がなく、計測時間を大幅に節約することができるという利点を有している。

【0005】また、前記特開昭 59-17329 号公報に記載のものと同様な測定原理に基づく技術として、特開平 7-369 号公報に記載のものがある。この公報に記載の技術は、被測定物の表面上に複数個配置した電流電極を切り替えて、被測定物に流れる電流経路を変化させ、同表面上に複数個配置した電圧検出電極から検出される多数組の電圧分布に座標変換した後、演算によって被測定物の表面近くの内部組織のインピーダンス分布を画像化して表示するようにした方法である。

【0006】さらに、特開平 11-113870 号公報および特開平 11-123182 号公報においては、体表面に複数の電極を装着し、対向電極間インピーダンスを測定することによって 2 電極間に挟まれて存在する全ての体組織の合成インピーダンス (身体の内部に存在する脂肪組織を含む) を測定するようにしたものが開示されている。特に、特開平 11-113870 号公報に記載のものでは、対向電極の組を数多く作り、順番を選ぶことで多くの異なった方向に体内インピーダンスを計測

してインピーダンス行列を求め、このインピーダンス行列に、電極装着部位に応じた体脂肪厚を近似する係数行列を掛けることで体脂肪分布を求めて画像表示するようにしている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開昭59-17329号公報に記載の方法においては、前述のように測定速度上の問題点があり、また特開平6-168号公報に記載の方法においても、マルチ周波数発振用の発振器を含む多信号同時供給装置および検出信号の周波数弁別、マルチA/D変換等を行う多信号同時計測装置といった多くのハードウェアを必要とするためにコスト高が避けられず、家庭用の機器としては不向きであるという問題点がある。

【0008】一方、特開平11-113870号公報および特開平11-123182号公報に記載の方法では、体表面に設けた2電極の間に存在する体の全組織の合成インピーダンス値から体脂肪の付いている部位を体表面周囲の皮下脂肪厚分布に画像変換して表現しようとするものであるが、それぞれの対向電極毎に2電極間を結ぶ直線上および周辺組織のインピーダンス値を代表的に表しているとはいうものの、体表面皮下脂肪も体腔内脂肪組織も合わせて計測しているために、前記2電極間を結ぶ直線上のどの位置に大きいインピーダンス値を持つ組織が存在するのか、言い換えれば2電極間に挟まれた組織のどの辺りにどの程度の脂肪量が存在しているかまでは求めることができない。一般に、同じ体脂肪量であっても皮下脂肪量の大小よりも内臓脂肪量の大小の方が健康への影響が大きいとされているところであるが、これら従来技術では、結果として内臓脂肪量も皮下脂肪量も含んだ全組織の脂肪量が求められるために、計測結果から健康上問題となるような脂肪の付き具合かどうかの見極めを明確に行えないという問題点がある。

【0009】なお、体の横断面に存在する脂肪量の位置と量とを正確に画像により可視化できる手段としてX線CTによる方法が従来より知られているが、この方法は高価な医療用機械を用いるとともに、検出時におけるX線被曝の問題もあるので、健康維持上の理由から誰もが気軽に使用できる方法ではない。

【0010】本発明は、このような問題点に鑑みてなされたもので、安価で簡易な装置により、人間の体内に存在する脂肪量を身体の前断面を観察する如く、体表面周囲の脂肪についてはその量を、体腔内の脂肪についてはその存在位置と量とを推定して認識することのできる体脂肪測定装置を提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段および作用・効果】本発明は、図1(a)(b)(c)(X線CTによる測定画像)に示されているように、人間の体内における脂肪(図中の白色の部分)の存在形態が、体表面皮下にあつ

て身体の前断面を一周する体表面皮下脂肪層と、所謂体腔内の任意の位置に分布する体腔内脂肪層とに大別できるという考えに基づき、身体の前断面における脂肪層の存在形態と量とを表現するための前処理手段として、人間の身体の前断面の組織分布位置を予め定め、この定めた位置に合わせて組織の結合体のある大きさのインピーダンス片の結合体とみなし、これら脂肪層のインピーダンス値を求めることを基本概念とするものである。要するに、本発明による体脂肪測定装置は、身体の前断面における脂肪量を測定する体脂肪測定装置であって、前記任意の前断面における体表面部皮下組織のインピーダンス値と、前記任意の前断面における体表面部皮下組織および体内部組織よりなる身体の前断面組織のインピーダンス値とから前記体内部組織のインピーダンス値を求めることを特徴とするものである。

【0012】本発明によれば、従来のX線CT等の高価で扱いにくく、危険度の高い装置に比べ、極めて簡単な装置によって体表面部皮下組織の脂肪層とその内部における体内部組織の脂肪層とに分離して測定することができ、体表面部皮下組織についてはその量を、体内部組織についてはその存在位置と量とを推定し、認識することができる。特に、内臓脂肪量の多少と概略の存在位置が得られるので、健康度の判定・管理に役立たせることができる。

【0013】本発明において、前記体表面部皮下組織および体内部組織のインピーダンス値を求めるに際しては、これら体表面部皮下組織および体内部組織に分布する脂肪層をそれらの分布態様に見合うインピーダンス片の接合合成体としてのインピーダンス回路に置換するようにされるのが好ましい。これにより、体内に存在する脂肪層の分布態様に合わせてその存在位置を認識することができる。

【0014】ここで、前記インピーダンス回路は、身体の前断面部に配置される複数の電極のうち、体組織を挟んで対向する少なくとも一組の電極間に電流または電圧を印加し、この少なくとも一組の電極を含む複数の電極間に発生する電圧を測定することにより前記インピーダンス片のインピーダンス値を得るものであるのが良い。こうすることで、定めた組織分布位置をインピーダンス回路網に置き換えて身体の前断面脂肪層のインピーダンス等価回路網を設定することができ、このインピーダンス等価回路網を構成する各インピーダンス片のインピーダンス値を体表面部から電流を流したときに発生する電圧測定と回路方程式の解によって求めることができる。また、測定電流の付加電極数を少なくすることができるので、発生電圧測定回数も少なくなり、測定時間が短くて済む。

【0015】前記体表面部皮下組織のインピーダンス値は、体表面部皮下組織のみに電流または電圧を印加して求められるのが好ましい。

【0016】また、前記体表面部皮下組織のインピーダンス値は、この体表面部皮下組織の脂肪層の厚みを測定する測定器から得られる測定値を換算することにより求められ得る。

【0017】前記体内部組織のインピーダンス値は、体断面部位別および体断面部位の組織の種類に対応して定めた変換係数を用いて脂肪量および脂肪量ランク値に変換されるのが好ましい。さらに、前記インピーダンス回路に対応させて、身体の断面における脂肪量分布態様を画像化して表示する表示手段が設けられるのが好ましい。こうすることで、インピーダンス値を脂肪量および層の厚みに変換してレベル化、画像化することができ、体内に存在する脂肪層の分布態様、脂肪量を感覚的、視覚的に容易に把握することができ、健康管理に役立てることができる。

【0018】この場合、前記表示手段は、前記体表面部皮下組織および体内部組織に分布する脂肪層を脂肪量ランク値に対応させて色の濃淡付けまたは複数種の色分けにて表示するものであるのが好ましい。これにより、脂肪量に対する判断がより容易に行えることになる。

【0019】

【発明の実施の形態】次に、本発明による体脂肪測定装置の具体的な実施の形態について、図面を参照しつつ説明する。

$$Z1 = z01 + z12 + z23 + z34$$

$$Z2 = z45 + z56 + z67 + z70$$

..... (1)

また、図3(a)にて設定される等価回路における合成インピーダンスをZとすると、前記測定結果より次式が

$$Z \cdot I = E$$

..... (2)

ただし、ZはZx、Z1、Z2の並列回路における合成

$$1/Z = 1/Zx + 1/Z1 + 1/Z2$$

..... (3)

【0024】(2)式よりZの値はZ=E/Iから求められ、また(3)式よりZ=Z1・Z2・Zx/(Z1・Zx+Z2・Zx+Z1・Z2)であるから、Zx

$$Zx = Z1 \cdot Z2 \cdot Z / \{ Z1 \cdot Z2 - Z (Z1 + Z2) \}$$

..... (4)

【0025】Zxには電極A0-A4の方向に体表面脂肪層の厚みに相当するインピーダンスが直列に加わっているため、図3(b)に示されるように電極A0、A4

$$Zi = Zx - (Z3 + Z4)$$

..... (5)

【0026】ここで、前面インピーダンスZ3および後面インピーダンスZ4は、電極A0、A4近傍のインピーダンス値に、予め実験により定められる変換係数nを

$$Z3 = (1/n) \cdot (z01 + z70)$$

$$Z4 = (1/n) \cdot (z34 + z45)$$

..... (6)

【0027】また、このようにして得られた胴の横断面の脂肪分布を画像に表現するに際しては、予め本実施例によるインピーダンスの測定結果とX線CTによる測定画像の結果とを多くの事例に対して参照し、体表面インピーダンス値zjと体表面脂肪層厚tjとを関係付ける

$$tj = p \cdot zj$$

..... (7)

【0020】(第1実施例)図2は、本発明の第1実施例において胴の横断面の周囲に配される電極を示す模式図である。

【0021】図示のように、測定したい胴の横断面の周囲には8個の電極A0~A7が配される。そして、胴の横断面における脂肪層の等価インピーダンスとして、電極A0と電極A4とを通る軸CLを中心軸に左右に2分したそれぞれの体表面脂肪層の等価インピーダンスをZ1、Z2とし、体腔内の脂肪層の等価インピーダンスをZxとすると、本実施例の体脂肪測定装置における体の横断面の等価回路は図3(a)に示されるようになる。

【0022】ここで、各電極A0~A7を電流電極と電圧測定電極の2つで構成するものとし、各電極間のインピーダンスを4端子法にて求めることとする。すなわち、電極A0-A1間、A1-A2間、A2-A3間、.....、A7-A0間のそれぞれに一定電流を流して各電極間のインピーダンスを測定し、値z01、z12、z23、.....、z70を得たものとする。次に、体の組織を挟んで対向する2つの電極A0、A4の間に一定電流Iを流し、これら電極A0、A4間に発生する電圧を、それぞれ電極A0および電極A4の近傍に設置した電圧測定電極にて測定して値Eを得たものとする。

【0023】体表面皮下脂肪分についての2分されたインピーダンスZ1、Z2は次式で表される。

成り立つ。

インピーダンスであるから、次式が成り立つ。

は、既知の値Z1、Z2、Zを用いて次式により求められる。

における体表面脂肪層インピーダンスをそれぞれZ3、Z4とすると、体腔内脂肪層インピーダンスZiは次式で表される。

乗じて求めるものとする。すなわち、Z3、Z4は変換係数nを用いて次式にて表される。

次式の変換係数pを定めて、この変換係数pを用いて、図4に示されるように、画像化した胴の横断面における体表面周囲の内部に体表面脂肪層厚tjの厚みを模式的に描くようにすれば良い。

【0028】また、体腔内脂肪層インピーダンス $Z_i$ については、CT画像等の測定データから体断面の部位別に脂肪量への変換係数が予め定められ、この係数を使って脂肪量に変換される。得られた脂肪量は、例えば体内脂肪成分の多少によって5段階のランク（多い、やや多い、普通、やや少ない、少ない）を定め、このランク値の大きさによって白色から黒色までの段階的な濃淡色に変換して表示するようにすることができる。

【0029】本実施例においては、電極A0-A4方向に体内脂肪量インピーダンスを求めるものとしたが、電極A1-A5の方向、電極A2-A6の方向、電極A3-A7の方向に求めても良いのは言うまでもない。また、体腔内脂肪層インピーダンス $Z_i$ については、これら全ての軸方向に求めた $Z_i$ 値の平均値として与えるのが最も適切である。なお、体腔内部の脂肪層の模式図の形状として、 $Z_i$ 値が最大値を取る軸方向に楕円の長軸がくるように模式図を描けば、その方向に脂肪層が多いことが理解されるのでより好ましい。

【0030】また、本実施例においては、体表面皮下組織のインピーダンスを求める方法として、測定したい各部位に複数の電極を設け、これら電極を通して電流を流す方法について説明したが、この他に、各部位の脂肪層を掘んで厚みを測定するキャリパー法のような直接的な測定方法を用いても良い。この場合、測定された脂肪層の厚みに係るデータを体表面部位を表すデータとともに測定装置に入力し、この厚みに係るデータを予め設定さ

$$Z = E1 \cdot (R_s / E2)$$

さらに、 $Z_x$ は(4)式より求められる。

【0033】本実施例においては、インピーダンスを測定するのに4端子法を用い、一対の電極を定電流もしくは定電圧印加用とし、他の一対の電極を身体間に発生する電圧測定用としたものを説明したが、電極を十分に大きくしたり、電極と接触する身体に導電剤を塗布するなどして十分に接触インピーダンスを下げて2端子法にて測定することもできる。このようにすれば電極数や回路数、配線数を減らすことができる。

【0034】また、接触インピーダンスと電極周辺の身体組織部インピーダンスと体内組織部インピーダンスを測定し、別途に接触インピーダンスと電極周辺の身体組織部インピーダンスを測定し、前者の測定値から後者の測定値を差し引いて皮下脂肪層を含む体内組織部インピーダンスを求めるようにしても良い。

【0035】また、2種類の周波数を発生する電気信号発生装置を備え、体表面に加える電気信号に関して、体表面皮下脂肪を測定するときは体表面近くを通り易い周波数の信号の方を選び、体表面および体内を含めた脂肪層を測定するときは身体の組織全体に通電し易い周波数の信号の方を選択して電極に与えるようにしても良い。なお、例えば局所的な皮下脂肪厚の測定に関しては、2電極法で100kHz以上の高周波数を用いる方法が電

れている適切な変換係数により各部位のインピーダンス値に変換するようにし、これらインピーダンス値を前記

(1)式の $z01 \sim z70$ の各値に当てはめるようにすれば良い。また、体表面の脂肪層の画像化に際しては、測定した脂肪層の厚みの値をそのまま使用すれば良い。

【0031】本実施例においては、電極A0-A4間のインピーダンス $Z_x$ を求めるのに、これら電極A0-A4間に一定電流 $I$ を流すものとしたが、図5に示されるように、電極A0と回路コモンとの間に既知の値を持つ抵抗 $R_s$ を接続し、測定回路内に設けた定電圧電源より電圧 $E$ を電極A0と回路コモンとの間に付加するような回路構成を採用しても良い。この回路において、電圧印加電極A0、A4の近傍に設ける電圧測定電極をA01、A41とし、電極A0、A01と皮膚との間の接触インピーダンスをそれぞれ $Z_a$ 、 $Z_{a1}$ とし、電極A4、A41と皮膚との間の接触インピーダンスをそれぞれ $Z_b$ 、 $Z_{b1}$ とする。また、電極A01とA41との間の測定電圧を $E1$ 、抵抗 $R_s$ の両端電圧の測定値を $E2$ とすると、電圧測定においてはほとんど接触抵抗 $Z_{a1}$ と $Z_{b1}$ に電流を流さないようにされるので、 $Z1$ 、 $Z_x$ 、 $Z2$ の並列等価回路の両端の電圧も $E1$ になる。

【0032】よって、回路を流れる電流を $I_x$ とすると、 $Z \cdot I_x = E1$ となり、 $I_x$ は $I_x = E2 / R_s$ より求められるので、合成インピーダンス $Z$ は次式で求められる。

$$\dots\dots\dots (8)$$

気情報通信学会の信学技報 (TECHNICAL REPORT OF IEICE, MBE94-49, 1994-07) に報告されている。

【0036】(第2実施例) 図6(a)は、本発明の第2実施例における人間の胸の横断面の模式図、図6

(b)は、第2実施例において胸の横断面の周囲に配される電極を示す模式図、図6(c)は、図6(a)に対応する等価回路図である。

【0037】本実施例においては、図6(a)に示されるように、胸の横断面の周囲を取り巻くように皮下脂肪層1が配され、体腔内脂肪層2、3、4が3箇所分布して配されていると仮定し、これら3箇所の体腔内脂肪層2、3、4の脂肪量の度合いを求める方法を提案するものである。

【0038】本実施例では、まず体表面周囲上の3つの基点A、B、Cと体内に仮設したO点との距離がほぼ $AO=BO=CO$ となるような基点A、B、Cを決め、これら各点A、B、Cに電流印加電極と電圧測定電極を一対ずつ設置する。次に、周囲A-B、B-C、C-Aを取り巻く皮下脂肪層のインピーダンスを求めるに際して、これらA-B間、B-C間、C-A間をさらに例えば3等分して電極対A2、A3、A4；B2、B3、B4；C2、C3、C4をそれぞれ設ける。なお、これら

電極対を設けるのは、例えばA-B間のインピーダンス値を求めるときにA-B間に一定電流を流した場合に、図6(b)の破線5にて示されるように、体内組織に電流が入り込み体表面近くのインピーダンス値を求めることができないという理由による。この理由から、体表面を数多く細分化して多数の電極対を設けるのが好ましい。

【0039】電極A-A2間、A2-A3間、A3-A4間、A4-B間のそれぞれに定電流を流して求めたイ

$$\begin{aligned} R1 &= z_{a1} + z_{a2} + z_{a3} + z_{a4} \\ R2 &= z_{b1} + z_{b2} + z_{b3} + z_{b4} \\ R3 &= z_{c1} + z_{c2} + z_{c3} + z_{c4} \end{aligned} \quad \dots\dots (9)$$

【0040】本実施例における胴の横断面における等価回路は図6(c)に示されるとおりである。この図において、Ra、Rb、RcはそれぞれA点、B点、C点よ

$$\begin{aligned} R_a &= (1/n) \cdot z_a \\ R_b &= (1/n) \cdot z_b \\ R_c &= (1/n) \cdot z_c \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} z_a &= z_{a1} + z_{c4} \\ z_b &= z_{a4} + z_{b1} \\ z_c &= z_{b4} + z_{c1} \end{aligned}$$

とする。

【0041】次に、これら体表面部分の皮下脂肪インピーダンスRa、Rb、Rcを含む体内脂肪層インピーダンスr1、r2、r3を求める方法について説明する。図7(a)には、図6(c)の回路を解析し易い形に表現した回路図が示されている。

【0042】この図7(a)において、まず、電極A-B間に測定回路より一定電流Iを流し、そのときに電極

$$\begin{aligned} I_a &= I - (i_1 + i_2) \\ I_b &= I - (i_1 + i_3) \\ I_c &= I_a - I_b = i_3 - i_2 \end{aligned} \quad \dots\dots (12)$$

ここで、i1、i2、i3は、

$$\begin{aligned} i_1 &= V1/R1 \\ i_2 &= V2/R3 \\ i_3 &= (V1 - V2)/R2 \end{aligned} \quad \dots\dots (13)$$

の式でもって測定結果より求めることができるので、体内電流Ia、Ib、Icも求めることができる。

$$\begin{aligned} \textcircled{1} I_a \cdot r_1 + I_b \cdot r_2 &= V1 \\ \textcircled{2} I_a \cdot r_1 + I_c \cdot r_3 &= V2 \end{aligned}$$

しかしながら、(14)式により表される連立方程式は式の数が2で、変数が3であるため、r1、r2、r3を求めることができない。

【0044】そこで、図7(b)に示されるように、今度は電極B-C間に前記と同じ値の一定電流Iを流し、電極Cおよび電極Aに発生する電圧をB点からの電位差

$$\begin{aligned} \textcircled{3} J_a \cdot r_2 + J_b \cdot r_3 &= U1 \\ \textcircled{4} J_a \cdot r_2 + J_c \cdot r_1 &= U2 \end{aligned} \quad \dots\dots (15)$$

【0045】(14)式の①-②より、

ンピーダンスをそれぞれza1、za2、za3、za4とし、同様に、電極B-B2間、B2-B3間、B3-B4間、B4-C間のそれぞれに定電流を流して求めたインピーダンスをそれぞれzb1、zb2、zb3、zb4とし、電極C-C2間、C2-C3間、C3-C4間、C4-A間のそれぞれに定電流を流して求めたインピーダンスをそれぞれzc1、zc2、zc3、zc4とすると、A-B間、B-C間、C-A間のそれぞれのインピーダンスR1、R2、R3は次式で表される。

りO点に向かう方向の体表面皮下部分の脂肪インピーダンスを示すものであって、変換係数nを用いて次式で求めることができる。

$$\dots\dots (10)$$

$$\dots\dots (11)$$

Bおよび電極Cに発生した電圧をA点からの電位差の形で測定し、それぞれV1、V2を得たとすると、電極C-B間の電位差はV1-V2となる。今、体内組織に流れ込む電流として、インピーダンスr1、r2、r3に流れる電流をそれぞれIa、Ib、Icとし、皮下脂肪層等価インピーダンスR1、R2、R3に流れる電流をそれぞれia、ib、icとすると、次式が成り立つ。

【0043】一方、体内電流Ia、Ib、Icによって次式が成立する。

$$\dots\dots (14)$$

として測定する。こうして、電極B-C間、電極B-A間、電極A-C間のそれぞれの電位差の測定結果がそれぞれU1、U2、U1-U2であったとし、体内インピーダンスr2、r3、r1を流れる電流をJa、Jb、Jcとすると、次式が成り立つ。

$$I_b \cdot r_2 - I_c \cdot r_3 = V1 - V2$$



故に、

$$r_2 = (V_1 - V_2 + I_c \cdot r_3) / I_b \quad \dots\dots\dots (16)$$

(14)式の②より、

$$I_a \cdot r_1 = V_2 - I_c \cdot r_3$$

$$r_1 = (V_2 - I_c \cdot r_3) / I_a \quad \dots\dots\dots (17)$$

【0046】次に、(16)式の $r_2$ を(15)式の③に代入すれば、次式によって $r_3$ を求めることができる。

$$r_3 = \{U_1 \cdot I_b - I_a (V_1 - V_2)\} / (I_a \cdot I_c + I_b \cdot I_b) \quad \dots\dots\dots (18)$$

このようにして $r_3$ が求まると、この $r_3$ を(16)式および(17)式に代入することで、 $r_2$ および $r_1$ を求めることができる。

【0047】以上のようにして、皮下脂肪インピーダンスに続いて体内インピーダンスが求まると、体腔内インピーダンスの方には変換係数を乗じて脂肪量の度合いランクに直し、図4に示されるのと同様の脂肪分布の模式図にて画像表示することができる。体腔内インピーダンス値と脂肪量の関係は、体断面の部位によって、また断面に存在する臓器、組織によって異なる。また、胸部断面であっても肺と心臓とでは変換係数が異なる。したがって、予め測定分割数と測定断面部位が設定されると測定位置が確定するので、断面部位別の、そして断面における組織の種類に対応して定められた変換係数に基づいて脂肪量の大小の程度を表すランクを決定する。なお、図6(a)における体腔内脂肪層2、3、4の箇所は脂肪量の程度に応じて、例えば黒色から白色までの段階的な濃淡もしくは各種のカラー色で表現すれば、視覚的に体腔内脂肪量が判定し易くなる。

【0048】次に、本実施例における体脂肪測定装置の装置構成並びに測定手順等について、順を追ってより具体的に説明する。

【0049】まず、胴の横断面の体脂肪分布を画像化するに際しては、脂肪分布の模式図とその等価回路を設定する。本実施例の場合、脂肪分布は、図6(a)に示されているように、体表面皮下脂肪層および体腔内脂肪層の計4箇所のブロックで表現され、等価回路は、図6(c)に示されているように、胴の横断面に設定される。

【0050】次に、設定された等価回路に合わせて、胴の断面周囲に図6(b)に示されているような電極A、A2、A3、A4、B、B2、……をほぼ等間隔に配置する。各電極は、図8に示されているように、一定電流印加用の電極 $a_{i1}$ 、 $a_{i2}$ 、 $a_{i3}$ 、……と、発生電圧測定用の電極 $a_{v1}$ 、 $a_{v2}$ 、 $a_{v3}$ 、……との対で構成されている。これら各電極の体表面への配置方法としては、例えば胴の周りに巻く特別なベルトを用意し、このベルトの内面に予め多数の電極を配置しておき、これら電極を測定装置に接続するようにし、使用者が、描きたい画像に応じて測定装置側で電極を選択できるように構成するのが好ましい。また、他の態様として、ベル

トの内面に電極を装着できる多数のステーションを設け、使用者が、描きたい画像に応じて適宜ステーションを選択して電極を装着できるようにしても良い。

【0051】なお、図1に示されるX線CT写真から明らかなように、人間の体表面の左と右とではほぼ脂肪層の厚み分布が等しいことを考慮し、電極A-B間の測定結果をそのまま電極C-A間に適用したり、電極B-B3間の測定結果を電極B3-C間に適用することができる。このようにすれば、電極B4、C3、C4の装着および測定を省略することができるので、装置構成がより簡素となる。

【0052】本実施例の体脂肪測定装置は、図9に示されるように、一定電流印加用の電極 $a_{i1}$ 、 $a_{i2}$ 、 $a_{i3}$ 、……を通して被験者の体内に一定電流を供給する一定電流供給装置6と、発生電圧測定用の電極 $a_{v1}$ 、 $a_{v2}$ 、 $a_{v3}$ 、……を通して電圧を測定する電圧測定装置7を備え、これら一定電流供給装置6および電圧測定装置7が演算装置8からの指令信号に基づき制御されるようになっている。また、電圧測定装置7の出力信号はA/D変換器9によってデジタル信号に変換されて演算装置8に入力される。この演算装置8は、前記A/D変換器9からのデジタル信号を受けるI/O回路と、各種データに基づいて体内脂肪量を演算する中央処理装置(CPU)と、各種データを記憶するメモリ等を含み、この演算装置8には、データ・操作入力用のキースイッチ10およびデータ表示用の表示器11が接続されている。

【0053】図10(一定電流供給装置6の詳細回路図)に示されるように、一定電流供給装置6は、定電流Iを出力する演算増幅器12と、この演算増幅器12から定電流Iが出力されるように回路を制御する参照抵抗 $r_b$ とを備えてなり、この演算増幅器12から出力される定電流IがアナログスイッチグループAS1および各電極 $a_{i1}$ 、 $a_{i2}$ 、 $a_{i3}$ 、……、 $c_{i4}$ を介して被験者に供給されるとともに、各電極 $a_{i1}$ 、 $a_{i2}$ 、 $a_{i3}$ 、……、 $c_{i4}$ およびアナログスイッチグループAS2を介して前記演算増幅器12に入力されるようになっている。

【0054】一方、図11(電圧測定装置7の詳細回路図)に示されるように、電圧測定装置7は、アナログスイッチグループAS3側の電極 $a_{v1}$ 、 $a_{v2}$ 、 $a_{v3}$

3, …… ,  $c v 4$  とアナログスイッチグループ AS 4 側の電極  $a v 1$ ,  $a v 2$ ,  $a v 3$ , …… ,  $c v 4$  との間に発生する電圧  $V$  を出力する演算増幅器 13 と、この演算増幅器 13 の入力抵抗  $r d$ ,  $r e$  と負帰還回路の抵抗  $r c$  とを備えてなり、この演算増幅器 13 の出力電圧信号が平滑回路フィルタ 14 を通して前記 A/D 変換器 9 に供給されるようになっている。なお、前記各アナログスイッチグループ AS 1 ~ AS 4 は演算装置 8 からの指令によって切替え操作されることにより、一定電流の供給先電極および電圧の検出先電極が選択される。

【0055】次に、このような測定装置を用いての体脂肪の測定手順について説明する。1) 体表面皮下脂肪層インピーダンスを求める。電極 A から電極 C に向かって求める場合について説明する。なお、以下に説明する手順は、使用者がキースイッチ 10 に付属するスタートキーを押せば、CPU のメモリに書き込まれたプログラムにしたがって自動的に実行される。

【0056】まず、図 10 に示されるアナログスイッチグループ AS 1 の電極  $a i 1$  とアナログスイッチグループ AS 2 の電極  $a i 2$  の各スイッチを閉じて身体に一定電流  $I$  を供給し、この供給状態にて、図 11 に示されるアナログスイッチグループ AS 3 の電極  $a v 1$  とアナログスイッチグループ AS 4 の電極  $a v 2$  の各スイッチを閉じてそれら電極間の電圧を測定する。この測定によってインピーダンス  $z a 2$  を得る。

【0057】続いて、電極  $a i 2 - a i 3$  間に一定電流  $I$  を流して電極  $a v 2 - a v 3$  間に現れる電圧を測定してインピーダンス  $z a 2$  を得る。以下、同様にして、電極  $c i 4 - a i 1$  間への一定電流  $I$  の印加による電極  $c v 4 - a v 1$  間の電圧測定までを順次アナログスイッチの選択切り替えにより行い、インピーダンス  $z a 1 \sim z c 4$  までを求めてその結果を演算装置 8 内のメモリに記憶させる。

【0058】次いで、こうして求めた体表面皮下脂肪の区分インピーダンス値  $z a 1 \sim z c 4$  より、(9) 式によって電極 A-B 間、電極 B-C 間、電極 C-A 間の各

$$Z i 1 = r 1 - R a$$

$$Z i 2 = r 2 - R b$$

$$Z i 3 = r 3 - R c$$

【0062】4) 体の断面インピーダンスを画像化する。体表面皮下脂肪層インピーダンス  $z a 1 \sim z c 4$  を (7) 式の  $z j$  に代入してその皮下脂肪の厚み  $t 1$ ,  $t 2$ , …… ,  $t 12$  を求める。また、体内組織の脂肪については、(19) 式の  $Z i 1$ ,  $Z i 2$ ,  $Z i 3$  から体断面別、組織別に設定された変換係数を用いてそれぞれ脂肪量に変換し、別途設定されるランク境界値と比較してそのランクを決定する。こうして得られた各値に基づき、前述のように体表面皮下脂肪については求められた厚み  $t j$  の値を用いて例えばランク 5 の色 (白色) で画像化し、体内脂肪については脂肪度合いを表すランクに

インピーダンス  $R 1$ ,  $R 2$ ,  $R 3$  を求め、更に (10) 式によって体の内部に向かう方向の皮下脂肪インピーダンス  $R a$ ,  $R b$ ,  $R c$  を求め、これら  $R 1$ ,  $R 2$ ,  $R 3$  の値および  $R a$ ,  $R b$ ,  $R c$  の値をメモリに記憶させる。

【0059】2) 体内組織インピーダンスを求めるための測定を行う。次に、アナログスイッチグループ AS 1 の電極  $a i 1$  とアナログスイッチグループ AS 2 の電極  $b i 1$  とを選択して電極 A-B 間に一定電流  $I$  を流し、この電流印加状態で、アナログスイッチグループ AS 3 の電極  $a v 1$  とアナログスイッチグループ AS 4 の電極  $b v 1$  とを選択して電極 A-B 間の電圧 ( $V 1$ ) を測定する。続いて、アナログスイッチグループ AS 4 の電極の選択を  $b v 1$  から  $c v 1$  に変更して電極 A-C 間の電圧 ( $V 2$ ) を測定する。また、電極 C-B 間の電圧については、得られた電圧  $V 1$  と  $V 2$  とにより  $V 2 - V 1$  を演算して求める。こうして求められた各データは一旦メモリに記憶させる。

【0060】次いで、アナログスイッチグループ AS 1 の電極  $b i 1$  とアナログスイッチグループ AS 2 の電極  $c i 1$  とを選択して電極 B-C 間に一定電流  $I$  を流し、この電流印加状態で、アナログスイッチグループ AS 3 の電極  $b v 1$  とアナログスイッチグループ AS 4 の電極  $c v 1$  とを選択して電極 B-C 間の電圧 ( $U 1$ ) を測定する。続いて、アナログスイッチグループ AS 4 の電極の選択を  $c v 1$  から  $a v 1$  に変更して電極 B-A 間の電圧 ( $U 2$ ) を測定する。また、電極 A-C 間の電圧については、得られた電圧  $U 1$  と  $U 2$  とにより  $U 2 - U 1$  を演算して求める。こうして求められた各データは一旦メモリに記憶させる。

【0061】3) 体内組織インピーダンスを求める。前述のようにして記憶された各データから、(12) 式 ~ (18) 式によって  $r 1$ ,  $r 2$ ,  $r 3$  を求める。また、内部組織インピーダンス  $Z i 1$ ,  $Z i 2$ ,  $Z i 3$  は図 6 (c) より次式で求められる。

$$\dots\dots\dots (19)$$

対応した濃淡のある色で画像化するのが好ましい。図 12 には、この画像化の一例が示されている。このような画像によって使用者は体表面および体内に概ねどのように脂肪分が存在しているかが容易に分かることになり、継続監視により健康管理・維持に役立たせることができる。なお、これら体内脂肪量の測定動作は全て自動的に行われるので、使用者は体に電極を設置し、年齢、性別等のデータを入力してキースイッチ 10 を押すだけで、測定、演算および表示が行われて体表面および体内の脂肪層の存在位置と量とを容易に知ることができる。

【0063】(第 3 実施例) 図 13 (a) は、本発明の

第3実施例における人間の胸の横断面の模式図、図13(b)は、第3実施例の等価回路図である。

【0064】本実施例においては、図13(a)に示されるように、胸の横断面の周囲を取り巻くように皮下脂肪層1が配され、体腔内脂肪層15、16、17、18が4箇所分布して配されていると仮定し、これら4箇所の体腔内脂肪層15、16、17、18の脂肪量の度合いを求める方法を提案するものである。

【0065】本実施例では、まず体表面周囲を4等分する基点A、B、C、Dに電流印加電極と電圧測定電極を1対ずつ設置するとともに、A-B間、B-C間、C-D間、D-A間をそれぞれ複数に分割する電極対を設置

$$i_1 = V_1 / R_1$$

$$i_2 = V_2 / R_2$$

こうして、体内へ流入してインピーダンス $r_1$ に流れる電流は $I - (i_1 + i_2)$ として求められる。また、この体内へ流れ込んだ電流 $I - (i_1 + i_2)$ はO点でそれぞれ等価インピーダンス $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ の方向へ電流値 $i_3$ 、 $i_4$ 、 $i_5$ となって分流する。このとき、B

$$i_1 + i_3 = V_2 / R_2$$

$$i_2 + i_4 = V_3 / R_4$$

これにより、等価回路を流れる全ての電流が求められる。

【0069】次に、目的とする $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ を求めるために、これら各インピーダンス $r_1$ 、 $r_2$ 、

$$i_a = I - (i_1 + i_2)$$

$$i_b = i_3$$

$$i_c = I - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4)$$

$$i_d = i_4$$

このとき、回路方程式は次式のようになる。

$$\text{ループAOBにおいて} \quad ① \quad r_1 \cdot i_a + r_2 \cdot i_b = V_1$$

$$\text{ループOCBにおいて} \quad ② \quad r_3 \cdot i_c - r_2 \cdot i_b = V_2$$

$$\text{ループOCDにおいて} \quad ③ \quad r_3 \cdot i_c - r_4 \cdot i_d = V_3$$

$$\text{ループAODにおいて} \quad ④ \quad r_1 \cdot i_a + r_4 \cdot i_d = V_4 \dots\dots (23)$$

【0070】ところで、 $V_3 = V_1 + V_2 - V_4$ が成り立つから、方程式数は3で、変数は4になる。ここで、 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_4$ を $r_3$ により表すこととする。

$$r_2 = (r_3 \cdot i_c - V_2) / i_b$$

①+②より

$$r_1 \cdot i_a + r_3 \cdot i_c = V_1 + V_2$$

$$⑤ \quad r_1 = (V_1 + V_2 - r_3 \cdot i_c) / i_a \dots\dots (25)$$

④と⑤より

$$r_4 \cdot i_d = V_4 - r_1 \cdot i_a = V_4 - V_1 - V_2 + r_3 \cdot i_c$$

$$⑥ \quad r_4 = (V_4 - V_1 - V_2 + r_3 \cdot i_c) / i_d \dots\dots (26)$$

【0071】次に、 $r_3$ の値を求めるために、電極D-B間に一定電流 $I$ を流して電極D-B間、電極A-B間、電極C-B間、電極D-C間の電圧を測定し、前記と同様に回路方程式を立てることとする。図15(a)

$$j_1 = U_1 / R_4$$

$$j_2 = U_4 / R_3$$

して、前述と同様にして体表面皮下インピーダンス $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ を測定する。また、同時にA、B、C、Dの各点から体内中心点Oの方向に皮下インピーダンス $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ 、 $R_d$ も求める。

【0066】次に、体腔内脂肪層インピーダンス $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ の値を以下のようにして求める。

【0067】まず、図14(a)に示されるように、電極A-C間に一定電流 $I$ を流し、そのときA-B間、B-C間、D-C間、A-D間に発生する電圧を測定してそれぞれ $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ であったとする。A-B間およびA-D間に流れる電流をそれぞれ $i_1$ 、 $i_2$ とすると、次式が成り立つ。

$$\dots\dots (20)$$

-C間を流れる電流は $i_1 + i_3$ 、D-C間を流れる電流は $i_2 + i_4$ 、 $r_3$ の方向へ流れる電流は $I - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4)$ と表すことができる。

【0068】電極B-C間、D-C間の電圧 $V_2$ 、 $V_3$ より次式が成り立つ。

$$\dots\dots (21)$$

$r_3$ 、 $r_4$ を流れる電流を次式で示すように $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 、 $i_d$ と置き、図14(a)に示される回路を図14(b)のように置き換える。

$$\dots\dots (22)$$

まず、(23)式の③より、

$$r_3 \cdot i_c - r_4 \cdot i_d = V_1 + V_2 - V_4$$

②より

$$\dots\dots (24)$$

故に、次式が成り立つ。

$$\dots\dots (25)$$

$$3 \cdot i_c$$

故に、次式が成り立つ。

$$\dots\dots (26)$$

に示されるように、これら各電極間の電圧測定値が $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ であるとし、 $R_4$ 、 $R_3$ 、 $r_1$ 、 $r_3$ を流れる電流をそれぞれ $j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$ 、 $j_4$ と置くと、次式が成り立つ。

$$j_1 + j_3 = U_2 / R_1$$

$$j_2 + j_4 = U_3 / R_2 = (U_1 + U_2 - U_4) / R_2 \quad \dots\dots\dots (27)$$

【0072】各インピーダンス $r_1, r_2, r_3, r_4$ を流れる電流を $j_a, j_b, j_c, j_d$ と置き、図15(a)に示される回路を図15(b)のように書き直すと、ループDOCにおける回路方程式は次式のようにな

る。  
 $r_4 \cdot j_d + r_3 \cdot j_c = U_4$   
 故に、 $r_4 = (U_4 - r_3 \cdot j_c) / j_d$   
 この式と(26)式の⑥より、

$$\begin{aligned} r_4 &= (V_4 - V_1 - V_2 + r_3 \cdot i_c) / i_d \\ &= (U_4 - r_3 \cdot j_c) / j_d \quad \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

故に、 $r_3$ は次式によって得ることができる。

$$r_3 = \{U_4 \cdot i_d - (V_4 - V_1 - V_2) \cdot j_d\} / (i_c \cdot j_d + j_c \cdot i_d) \quad \dots\dots\dots (29)$$

また、 $r_3$ が求まると、(23)式、(24)式、(25)式によって $r_1, r_2, r_4$ も求めることができる。この結果、体腔内脂肪層インピーダンスを求めることができたので、これらの値によって、設定された脂肪層の測定分割数と体断面部位と、その断面における組織の種類に応じて定めた変換係数を用いて脂肪量を求め、脂肪量の大小のランク判定を行い、画像化すれば良い。

【0073】(第4実施例)図16は、本発明の第4実施例の等価回路図である。本実施例は、体腔内脂肪層を7分割してよりきめ細かい等価インピーダンス回路に置き換えて、より分解能の高い脂肪分布を求めるようにしたものである。

【0074】本実施例では、まず体表面周囲を6等分す

る基点A, B, C, D, E, Fに電流印加電極と電圧測定電極を対ずつ設置して、前述と同様にして体表面皮下インピーダンス $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ を測定する。

【0075】次に、体腔内脂肪層インピーダンス $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ の値を求めるために、まず、電極A-C間に一定電流 $I$ を流し、そのときB, C, F, E, D点に発生する電圧を測定してそれぞれ $V_1, V_2, V_4, V_5, V_6$ であったとする。このとき、体表面皮下インピーダンス $R_1, R_6, R_5, R_4, R_2, R_3$ に流れる電流をそれぞれ $i_{11}, i_{16}, i_{15}, i_{14}, i_{12}, i_{13}$ とすると、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} i_{11} &= V_1 / R_1 \\ i_{16} &= V_4 / R_6 \\ i_{15} &= V_5 / R_5 \\ i_{14} &= V_6 / R_4 \\ i_{12} &= V_2 / R_2 \\ i_{13} &= (V_1 + V_2 - V_4 - V_5 - V_6) / R_3 \quad \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

【0076】よって、体内インピーダンス $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ を流れる電流 $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7$ は次式にて求めることができる。

$$\begin{aligned} i_1 &= I - (i_{11} + i_{16}) \\ i_2 &= i_{11} - i_{12} \\ i_5 &= i_{16} - i_{15} \\ i_7 &= i_{15} - i_{14} \\ i_6 &= i_{14} - i_{13} \\ i_3 &= I - (i_{12} + i_{13}) \\ i_4 &= i_1 + i_2 - i_3 \quad \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

【0077】次に、図16に示される回路を図17(a)のように置き換えて回路方程式を次式のように立

てる。

$$\begin{aligned} ① \quad & i_1 \cdot r_1 - i_2 \cdot r_2 - V_1 = 0 \\ ② \quad & i_2 \cdot r_2 + i_3 \cdot r_3 - V_2 = 0 \\ ③ \quad & i_1 \cdot r_1 + i_4 \cdot r_4 - i_5 \cdot r_5 - V_4 = 0 \\ ④ \quad & i_5 \cdot r_5 - i_7 \cdot r_7 - V_5 = 0 \\ ⑤ \quad & i_7 \cdot r_7 + i_6 \cdot r_6 - V_6 = 0 \quad \dots\dots\dots (32) \end{aligned}$$

【0078】式が5個で変数が7個であるから、 $r_1, r_2, r_4, r_6, r_7$ の各値を $r_3, r_5$ で表すと次

$$① \quad r_1 = (V_1 + V_2 - i_3 \cdot r_3) / i_1$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{2} \quad r_2 &= (V_2 - i_3 \cdot r_3) / i_2 \\
 \textcircled{3} \quad r_6 &= (V_5 + V_6 - i_5 \cdot r_5) / i_6 \\
 \textcircled{4} \quad r_7 &= (i_5 \cdot r_5 - V_5) / i_7 \\
 \textcircled{5} \quad r_4 &= (i_5 \cdot r_5 + i_3 \cdot r_3 + V_4 - V_1 - V_2) / i_4 \\
 &\dots\dots\dots (33)
 \end{aligned}$$

【0079】次に、図17(b)に示されるように、電極F-D間に同じ大きさの一定電流Iを流したときにそ

れぞれ発生する電圧と電流について回路方程式を立てると、次式ようになる。

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \quad j_1 \cdot r_1 - j_2 \cdot r_2 - U_1 &= 0 \\
 \textcircled{2} \quad j_2 \cdot r_2 + j_3 \cdot r_3 - U_2 &= 0 \\
 \textcircled{3} \quad j_1 \cdot r_1 + j_4 \cdot r_4 - j_5 \cdot r_5 + U_4 &= 0 \\
 \textcircled{4} \quad j_5 \cdot r_5 - j_7 \cdot r_7 - U_5 &= 0 \\
 \textcircled{5} \quad j_7 \cdot r_7 + j_6 \cdot r_6 - U_6 &= 0 \\
 &\dots\dots\dots (34)
 \end{aligned}$$

【0080】(34)式の①+②より、

$$r_1 = (U_1 + U_2 - j_3 \cdot r_3) / j_1 \quad \dots\dots\dots (35)$$

故に、(33)式の①と(35)式より、

$$\begin{aligned}
 r_3 &= \{ j_1 \cdot (V_1 + V_2) - i_1 \cdot (U_1 + U_2) \} / \{ j_1 \cdot i_3 \\
 &\quad - i_1 \cdot j_3 \} \\
 &\dots\dots\dots (36)
 \end{aligned}$$

同様に、

$$\begin{aligned}
 r_6 &= \{ j_6 \cdot (V_5 + V_6) - i_6 \cdot (U_5 + U_6) \} / \{ j_6 \cdot i_5 \\
 &\quad - i_6 \cdot j_5 \} \\
 &\dots\dots\dots (37)
 \end{aligned}$$

【0081】(36)式、(37)式を(33)式の①～⑤に代入することで、 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_4$ 、 $r_5$ 、 $r_7$ の数値解も求めることができる。ただし、 $r_3$ と $r_6$ に

$$\begin{aligned}
 i_1 \cdot j_3 &\neq j_1 \cdot i_3 \\
 i_5 \cdot j_6 &\neq j_5 \cdot i_6 \\
 &\dots\dots\dots (38)
 \end{aligned}$$

しかしながら、体腔内インピーダンスは、大部分が脂肪層である表面に近い部分のインピーダンスより小さいと考えられ、図17(a)と図17(b)とを比べると、図17(a)における電流 $i_1$ の大半は $r_3$ の方へ流れ、図17(b)における $j_1$ の大半は $r_3$ から体表面C-D間を経由せずに $r_4$ の方へ流れると考えられる。このことから $i_1 / i_3 = j_1 / j_3$ は極めて成立しにくい条件である。同様に、 $i_5 / i_6 = j_5 / j_6$ も極めて成立しにくい条件である。

【0082】(第5実施例)図18(a)は、本発明の第5実施例の等価回路図である。本実施例は、体腔内脂肪層を12分割して更にきめ細かい等価インピーダンス回路に置き換えるようにしたものである。

【0083】本実施例では、まず体表面周囲を8等分する基点A、B、C、D、E、F、G、Hに電流印加電極と電圧測定電極を一つずつ設置して、前述と同様に体表面皮下インピーダンス $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$ を測定する。

【0084】次に、体腔内脂肪層インピーダンス $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $r_5$ 、 $r_6$ 、 $r_7$ 、 $r_8$ 、 $r_9$ 、 $r_{10}$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ の値を求めるために、まず、電極A-D間に一定電流Iを流し、そのときのA-B、B-

において解が存在する条件として、次式が成り立たなければならない。

C、C-D、D-E、E-F、F-G、G-H、H-A間の電圧を測定してそれぞれ $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ 、 $V_7$ 、 $V_8$ であったとする。このとき、体表面皮下インピーダンス $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$ に流れる電流値は、前記電圧値 $V_1 \sim V_8$ と予め測定した体表面インピーダンス値 $R_1 \sim R_8$ によって全て既知となる。次に、体腔内インピーダンスへ流れ込む電流については、例えばA点においてA-B間、A-H間へ流れる電流と印加電流Iとから $r_1$ へ流れ込む電流 $i_a$ は既知である。また、B点では、A-B間、B-C間を流れる電流値は既知であるので、 $r_2$ へ流れ込む電流 $i_b$ も既知である。同様に、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $r_5$ 、 $r_6$ 、 $r_7$ 、 $r_8$ にそれぞれ流れ込む電流 $i_c$ 、 $i_d$ 、 $i_e$ 、 $i_f$ 、 $i_g$ 、 $i_h$ も既知である。

【0085】次に、更に内部の回路のインピーダンス $r_9$ 、 $r_{10}$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ を流れる電流について検討する。これら各インピーダンス $r_9$ 、 $r_{10}$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ を流れる未知の電流をそれぞれ $i_x$ 、 $i_y$ 、 $i_z$ 、 $i_u$ と置く。また、内部回路のノードをそれぞれO1、O2、O3、O4と置くと、各ノードへ流れ込む電流の和は0であることより、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
 \text{O1について} \quad i_a + i_b - i_x - i_y &= 0 \\
 \text{よって、} \quad \textcircled{1} \quad i_y &= i_a + i_b - i_x \\
 \text{O2について} \quad i_y + i_z + i_c - i_d &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって、② } iz &= id - iy - ic = id - (ia + ib - ix) - ic \\ &= id - ia - ib + ix - ic \end{aligned}$$

$$\text{O3について } iu - iz - ie - if = 0$$

$$\begin{aligned} \text{よって、③ } iu &= iz + ie + if = id - ia - ib + ix - ic \\ &\quad + ie + if \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

【0086】一方、インピーダンス  $r1, r2, r3, r4, r5, r6, r7, r8$  を流れる電流について

$$\begin{aligned} \text{ループA-O1-Bにおいて ① } r1 \cdot ia - r2 \cdot ib &= V1 \\ \text{ループC-O2-Dにおいて ② } r3 \cdot ic + r4 \cdot id &= V3 \\ \text{ループF-O3-Eにおいて ③ } r5 \cdot ie - r6 \cdot if &= V5 \\ \text{ループH-O4-Gにおいて ④ } r7 \cdot ig + r8 \cdot ih &= V7 \end{aligned}$$

..... (40)

【0087】さらに、式の数を増やすために、図18 (b) に示されるように電極H-E間にも一定電流  $I$  を流し、各電極間に発生する電圧をそれぞれ  $U1, U2, \dots, U8$  とし、内部インピーダンス  $r1, r2, \dots$

...,  $r8$  に流れる電流を  $ja, jb, jc, jd, je, jf, jg, jh$  とすると、 $r1, r2, \dots, r8$  について次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{ループA-O1-Bにおいて ① } r1 \cdot ja + r2 \cdot jb &= U1 \\ \text{ループC-O2-Dにおいて ② } r4 \cdot jd - r3 \cdot jc &= U3 \\ \text{ループF-O3-Eにおいて ③ } r5 \cdot je + r6 \cdot jf &= U5 \\ \text{ループH-O4-Gにおいて ④ } r8 \cdot jh - r7 \cdot jg &= U7 \end{aligned}$$

..... (41)

【0088】(40) 式および (41) 式より、内部インピーダンスは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} r1 &= (jb \cdot V1 + ib \cdot U1) / (ia \cdot jb + ib \cdot ja) \\ r2 &= (ia \cdot U1 - ja \cdot V1) / (ia \cdot jb + ib \cdot ja) \\ r3 &= (jd \cdot V3 - id \cdot U3) / (id \cdot jc + ic \cdot jd) \\ r4 &= (jc \cdot V3 + ic \cdot U3) / (id \cdot jc + ic \cdot jd) \\ r5 &= (jf \cdot V5 + if \cdot U5) / (ie \cdot jf + if \cdot je) \\ r6 &= (je \cdot U5 - je \cdot V5) / (ie \cdot jf + if \cdot je) \\ r7 &= (jh \cdot V7 - ih \cdot U7) / (ih \cdot jg + ig \cdot jh) \\ r8 &= (jg \cdot V7 + ig \cdot U7) / (ih \cdot jg + ig \cdot jh) \end{aligned}$$

..... (42)

【0089】また、図18 (a) において、四角形ループA-O1-O4-Hに注目すると、A-H間の電圧は  $V8$  であり、A-O1間の電圧は  $r1, ia$  の両方が既知となったので求まり、O4-H間の電圧も  $r8, ih$  が既知となったので求まる。よって、O1-O4間の電圧も求めることができる。同様に、O1-O2間、

O2-O3間、O3-O4間の電圧を求めることができる。これら求めたO1-O4間、O1-O2間、O2-O3間、O3-O4間の電圧をそれぞれ  $V9, V10, V11, V12$  と置くと、(39) 式の関係より、O1-O2-O3-O4の回路において次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{① } r9 \cdot ix &= V9 \\ \text{② } r10 \cdot iy &= r10 \cdot (ia + ib - ix) = V10 \\ \text{③ } r11 \cdot iz &= r11 \cdot (id - ia - ib + ix - ic) = V11 \\ \text{④ } r12 \cdot iu &= r12 \cdot (id - ia - ib + ix - ic + ie + if) \\ &= V12 \end{aligned}$$

..... (43)

【0090】同様に、H-A間に電流を流した図18 (b) においても、内部インピーダンス  $r9, r10,$

$r11, r12$  に流れる電流をそれぞれ  $jx, jy, jz, ju$  とすると、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} jy &= jx + ja - jb \\ jz &= jy - jc - jd = jx + ja - jb - jc - jd \\ ju &= je - jz - jf = je - jx - ja + jb + jc + jd - jf \end{aligned}$$

..... (44)

したがって、

$$\text{① } r9 \cdot jx = U9$$

$$\textcircled{2} r_{10} \cdot j y = r_{10} \cdot (j a - j b + j x) = U_{10}$$

$$\textcircled{3} r_{11} \cdot j z = r_{11} \cdot (j x + j a - j b - j c - j d) = U_{11}$$

$$\textcircled{4} r_{12} \cdot j u = r_{12} \cdot (j e - j x - j a + j b + j c + j d - j f) = U_{12} \quad \dots\dots (45)$$

【0091】(43)式の①より、 $i x = V_9 / r_9$ こ れを(43)式の②に代入すると、  
 $r_{10} \cdot (i a + i b - V_9 / r_9) = V_{10} \quad \dots\dots (46)$

【0092】同様に、(45)式の①②より、  
 $r_{10} \cdot (j a - j b + U_9 / r_9) = U_{10} \quad \dots\dots (47)$

(46)式および(47)式より、 $r_9$ が次式により導かれる。  
 $r_9 = (V_{10} \cdot U_9 + U_{10} \cdot V_9) / \{U_{10} \cdot (i a + i b) - V_{10} \cdot (j a - j b)\} \quad \dots\dots (48)$

また、 $r_9$ が求まると、 $i x$ が求まるので、(43)式の②③④または(45)式の②③④から、 $r_{10}$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ を求めることができる。こうして、全ての内部インピーダンスが求まる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)(b)(c)は、X線CTによる人間の腹部断面の測定画像例を示す図である。

【図2】図2は、本発明の第1実施例において胴の横断面の周囲に配される電極を示す模式図である。

【図3】図3(a)(b)は、第1実施例における体の横断面の等価回路図である。

【図4】図4は、第1実施例における測定結果の画像化例を示す図である。

【図5】図5は、第1実施例の変形例における体の横断面の等価回路図である。

【図6】図6(a)は、本発明の第2実施例における人間の胴の横断面の模式図、図6(b)は、第2実施例において胴の横断面の周囲に配される電極を示す模式図、図6(c)は、図6(a)に対応する等価回路図である。

【図7】図7(a)(b)は、図6(c)の回路を解析し易い形に表現した回路図である。

【図8】図8は、第2実施例における電極配置図である。

【図9】図9は、第2実施例の体脂肪測定装置の装置構成ブロック図である。

【図10】図10は、一定電流供給装置の詳細回路図である。

【図11】図11は、電圧測定装置の詳細回路図である。

【図12】図12は、第2実施例における測定結果の画像化例を示す図である。

【図13】図13(a)は、本発明の第3実施例における人間の胴の横断面の模式図、図13(b)は、第3実施例の等価回路図である。

【図14】図14(a)(b)は、図13(b)の回路を解析し易い形に表現した回路図(1)である。

【図15】図15(a)(b)は、図13(b)の回路を解析し易い形に表現した回路図(2)である。

【図16】図16は、本発明の第4実施例の等価回路図である。

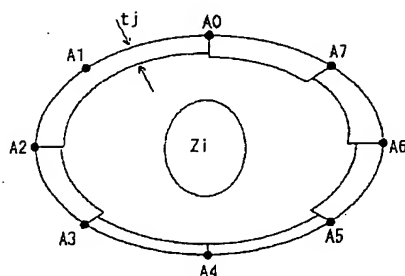
【図17】図17(a)(b)は、図13(b)の回路を解析し易い形に表現した回路図である。

【図18】図18(a)(b)は、本発明の第5実施例の等価回路図である。

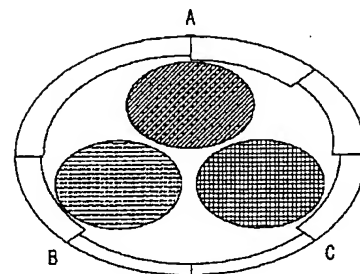
#### 【符号の説明】

- |                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 1                       | 皮下脂肪層     |
| 2, 3, 4, 15, 16, 17, 18 | 体腔内脂肪層    |
| 6                       | 一定電流供給装置  |
| 7                       | 電圧測定装置    |
| 8                       | 演算装置      |
| 9                       | A/D変換器    |
| 10                      | キースイッチ    |
| 11                      | 表示器       |
| 12, 13                  | 演算増幅器     |
| 14                      | 平滑回路フィルター |

【図4】



【図12】



【図 1】



(a)

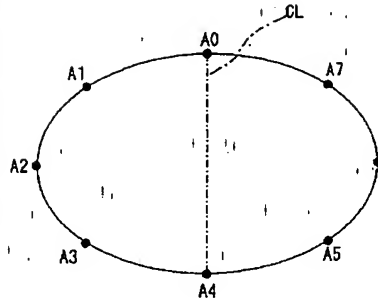


(b)

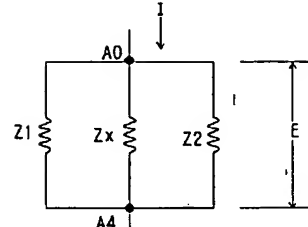


(c)

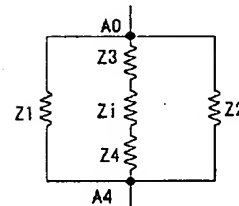
【図 2】



【図 3】

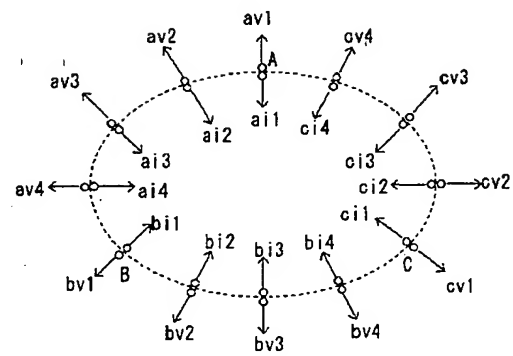


(a)

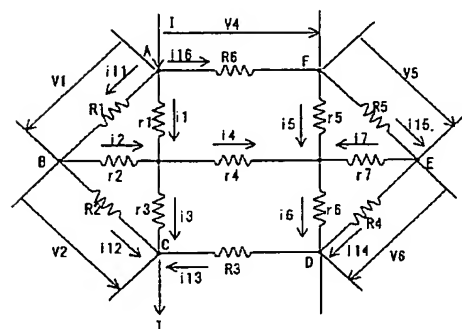


(b)

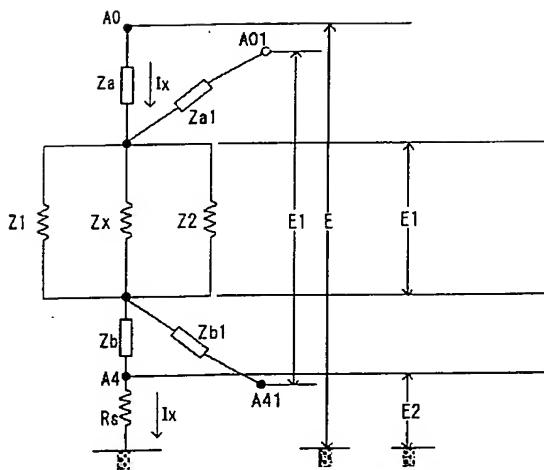
【図 8】



【図 16】

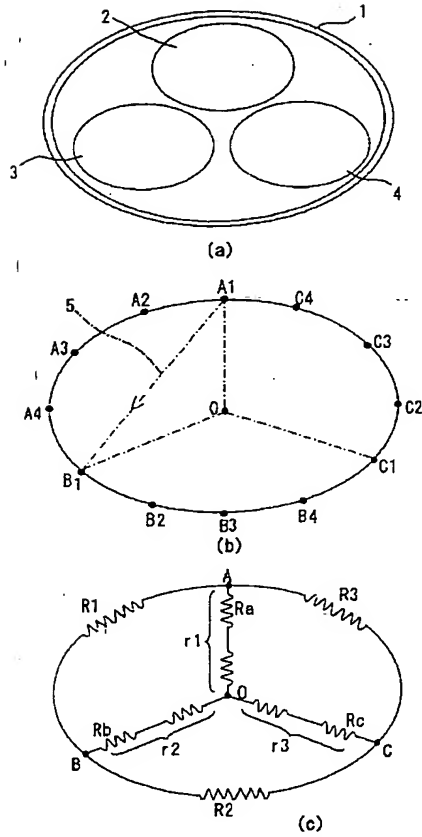


【図 5】

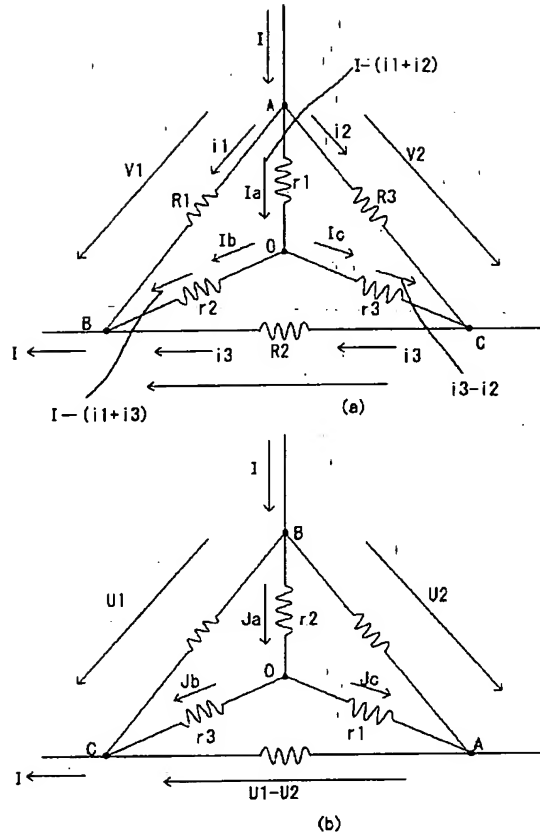




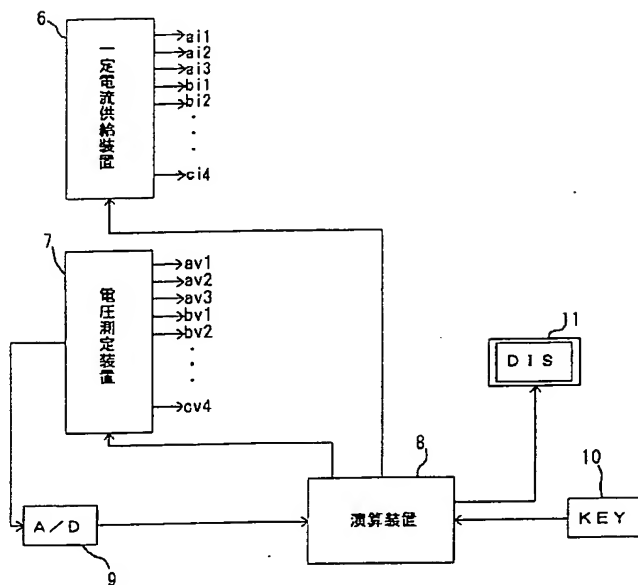
【図6】



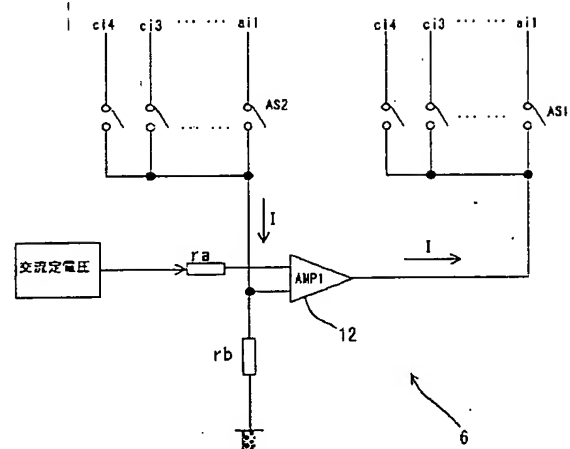
【図7】



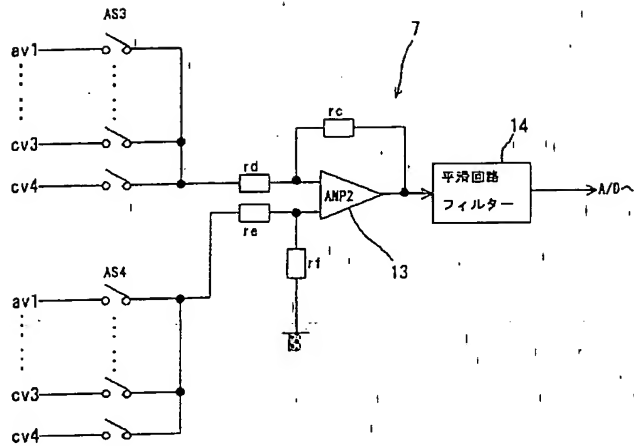
【図9】



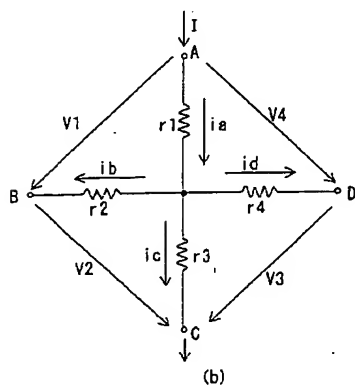
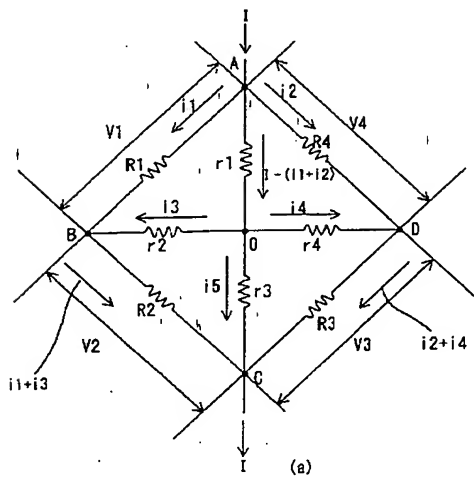
【図10】



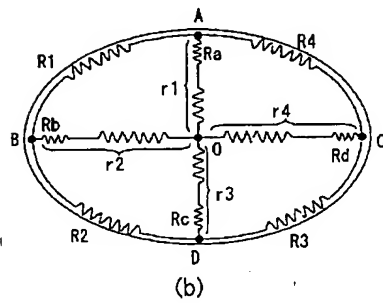
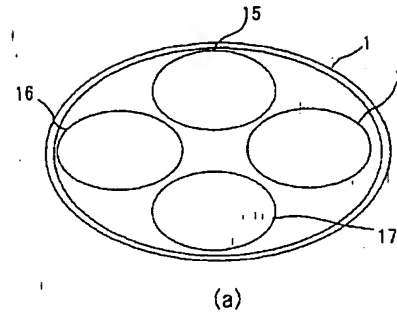
【図 11】



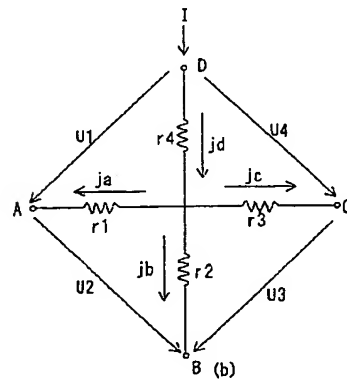
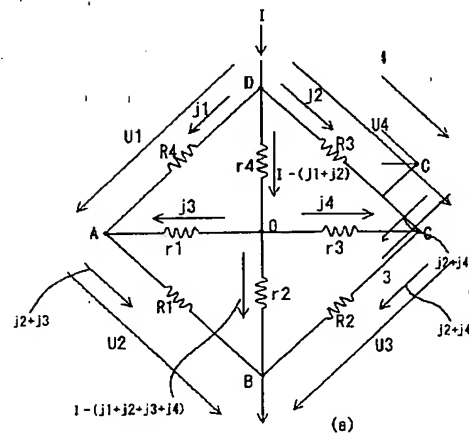
【図 14】



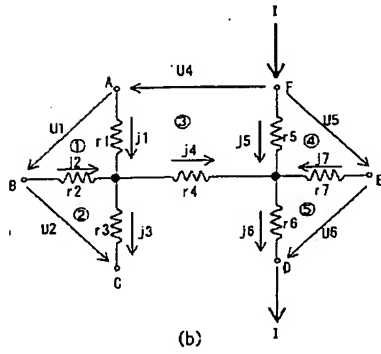
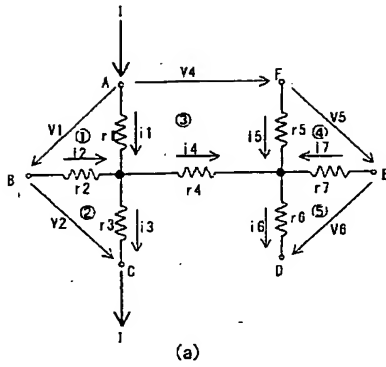
【図 13】



【図 15】



【図 17】



【図 18】

